

УДК [UDK] 662.994

DOI 10.17816/transsyst2018041043-057

© А.С. Краснов¹, Т.С. Зименкова¹, С.А. Казначеев¹, Н.А. Аксенов²¹Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I²Научно-производственный центр «Транспортные инновационные
технологии»

Санкт-Петербург, Россия

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОВОГО АККУМУЛЯТОРА С ТВЕРДЫМ ТЕПЛОАККУМУЛИРУЮЩИМ МАТЕРИАЛОМ КАК СПОСОБ ОХЛАЖДЕНИЯ ЧАСТИ СИСТЕМЫ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ И ГРУЗОСОХРАНЕНИЯ ВАКУУМНОГО МАГНИТОЛЕВИТАЦИОННОГО ТРАНСПОРТА

Цель: Развитие вакуумного магнитолевитационного транспорта подразумевает решение такого важного вопроса, как утилизация тепловой энергии в пространстве с разреженной воздушной средой. Применение теплового аккумулятора с твердым теплоаккумулирующим материалом или плавящимся теплоаккумулирующим материалом как способа охлаждения части системы жизнеобеспечения и грузосохранения (СЖОиГС) вакуумного магнитолевитационного транспорта обусловлено невозможностью передачи тепловой энергии внутри вакуумного трубопровода путем конвекции. Кроме того, при разрядке аккумулятора на пункте прибытия накопленная тепловая энергия может быть использована в качестве вторичного источника тепловой энергии, тем самым повышается энергетическая эффективность системы в целом.

Методы: В данной работе авторы используют методику теплотехнического расчета с применением теории подобия.

Результаты: Применение тепловых аккумуляторов в системах СЖОиГС вакуумного магнитолевитационного транспорта позволит решить задачу отвода избытков тепловой энергии в условиях отсутствия конвективного теплообмена, а также повысить энергетическую эффективность системы в целом.

Ключевые слова: вакуумный магнитолевитационный транспорт, система жизнеобеспечения и грузосохранения, твердый аккумулирующий материал, плавящийся теплоаккумулирующий материал, теплоотвод, утилизация тепловой энергии, энергетическая эффективность.

Работа выполнена при поддержке РФФИ в рамках научного проекта офи_м_РЖД № 17-20-04121.

© A.S. Krasnov¹, T.S. Zimenkova¹, S.A. Kaznacheev¹, N.A. Aksenov²

¹Emperor Alexander I Petersburg State Transport University

²Scientific and Production Center “Transport Innovative Technologies”

St. Petersburg, Russia

APPLICATION OF THERMAL ACCUMULATOR WITH SOLID HEAT ACCUMULATING MATERIAL AS A METHOD OF COOLING OF LIFE SUPPORT AND FREIGHT PROTECTION SYSTEMS FOR VACUUM MAGNETIC LEVITATION TRANSPORT

Aim: The development of vacuum maglev transport implies solution of an important issue, namely, disposing thermal energy in an air free space. The application of the thermal accumulator (TA) with solid heat accumulating material (SHAM) or melting heat accumulating material (MHAM) as a cooling method for the life support and freight preservation systems (LSaFPS) of vacuum maglev transport is justified by impossibility of thermal energy to be transferred inside the vacuum tube by virtue of convection. Besides, when the accumulators are discharged at the destination points, the saved thermal energy may be used as an additional energy source, thus increasing energy efficiency of the transportation system as a whole.

Methods: In the work given, the authors have used the heat engineering calculation with the application of the similarity theory.

Results: Application of the life support and freight preservation systems (LSaFPS) of vacuum maglev transport will help in solving a problem of removal of excess of thermal energy in the conditions of lack of heat convection and also in increasing energy efficiency of the entire system.

Keywords: vacuum maglev transport, life support and freight preservation system (LSaFPS), solid or melting heat accumulating material, heat removal, disposal of thermal energy, energy efficiency.

Система жизнеобеспечения и грузосохранения (СЖОиГС), в частности система вентиляции и кондиционирования пассажирских транспортных единиц вакуумного магнитолевитационного транспорта [1], учитывая его специфику, является одним из важнейших элементов, обеспечивающих комфорт и безопасность пассажиров.

Система вентиляции пассажирской транспортной единицы, а также методика расчета теплового баланса подробно изложены в [2, 3].

В общем случае бортовая система кондиционирования в герметической кабине при любых атмосферных условиях и для всех режимов транспортировки должна поддерживать заданные давление, температуру, влажность, физико-химический состав воздуха, а также допустимый уровень шума [4, 5].

Невозможность применения систем вентиляции и кондиционирования воздуха, аналогичных системам, используемым на железнодорожном транспорте, обусловлена невозможностью удаления избытков тепловой энергии во внешнюю среду [6]. В такой ситуации целесообразно рассмотреть автономные системы утилизации и накопления избытков тепловой энергии.

Постановка задачи

В качестве основной задачи рассматривается составление методики, позволяющей выбрать как аккумулирующее вещество для удаления избытков тепловой энергии, так и режимы работы и зарядки-разрядки тепловых аккумуляторов автономных бортовых СЖОиГС [7, 8] вакуумного магнитолевитационного транспорта.

Следующей задачей является построение методики теплового расчета с целью определения перепада температур воздуха и панели системы вентиляции и кондиционирования воздуха при выполнении технических требований.

Для поверочного теплового расчета салона с панельным теплообменом необходимы следующие исходные данные:

- крейсерская скорость движения V ;
- объем салона V_k ;
- обогреваемая поверхность вагона S ;
- длина салона l_k ;
- высота салона h_k ;
- высота одной панели h ;
- длина одной панели $l_{\text{п}}$;
- количество панелей $n_{\text{п}}$;
- средняя температура воздуха в салоне t_k ;
- средняя температура внутренних стенок салона $t_{\text{в}}$;
- допустимые перепады температур воздуха по высоте и длине салона Δt_{kh} и Δt_{kl} ;
- допустимый перепад температур поверхности внутренней стенки $\Delta t_{\text{в}}$ по ее высоте;
- допустимая скорость воздуха в салоне νk ;
- количество пассажиров в салоне;

- теплоизоляционные, массовые и механические характеристики тепло-, звукоизоляционных материалов;
- изменение давления в салоне.

Система панельного теплообмена для режима крейсерской скорости при минимально возможной температуре внешнего воздуха рассчитывается методом последовательных приближений. Тепловой и гидравлический расчет проводится для одной панели в предположении, что теплообмен и сопротивление всех панелей одинаковы. Основной задачей теплового расчета является определение перепада температур воздуха и панели при выполнении указанных технических требований.

При расчете системы, работающей по смешанной схеме, последовательно определяют массовый расход воздуха через одну панель; систему панельного теплообмена для режима стабильной скорости движения состава с рабочими показателями внешней среды в вакуумном трубопроводе; тепловой и гидравлический расчет для одной панели в предположении, что теплообмен и сопротивление всех панелей одинаковы.

Упрощенная схема салона с потоками кондиционируемого воздуха представлена на рис. 1.

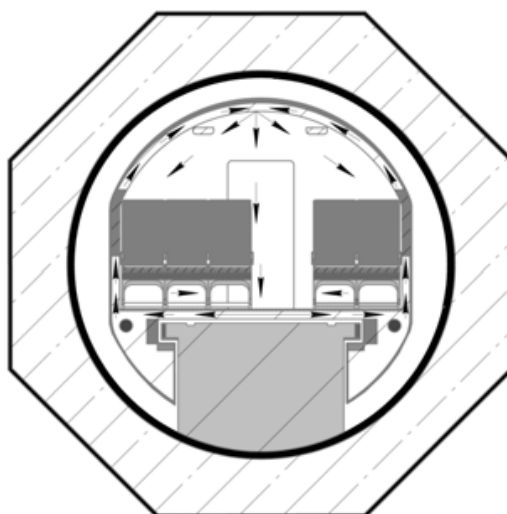


Рис. 1. Упрощенная схема салона с потоками кондиционируемого воздуха

Принятые допущения

Для оценки тепловыделений части СЖОиГС принимаются следующие исходные данные:

P_k , Па – давление в салоне;

V_k , м³ – внутренний объем салона;

t_k , °С – температура воздуха на входе в панель.

Массовый расход воздуха через одну панель

$$G_n = \frac{G_{ch}}{n},$$

где G_{ch} – часовое количество воздуха, необходимое одной панели, определяемое из условий вентиляции кабины

$$G_{ch} = n \cdot \rho \cdot VK.$$

Коэффициент теплоотдачи от стенки панели к воздуху в салоне

$$ak = \frac{Nu_k \cdot \lambda_k}{h}.$$

Количество тепла, передаваемого от панели в салон,

$$Q_{n1} = k_{n1} \cdot F_{n1} \cdot (t_{ncp} - t_k).$$

Средняя скорость движения воздуха в панели, м/с,

$$v_n = \frac{G_n}{F_n \cdot \rho_{cp} \cdot 3600}.$$

Число Нуссельта [9]

$$Nu_n = 1,02 \cdot Re^{0,38};$$

$$Nu_n = 1,128 \cdot Re^{0,7}.$$

Тепловой баланс в салоне

$$Q_1 + Q'_1 + Q_{ocb} + Q_{n1} + Q_{пл} + Q_{пт} = G_{ch} \cdot c_p \cdot \Delta t_k,$$

где Δt_k – изменение температуры воздуха в кабине;

Q_1 – количество теплоты, выделяемое пассажирами;

Q'_1 – количество теплоты от одной панели;

$Q_{\text{осв}}$ – количество теплоты от электроприборов (освещения, генераторов, аккумуляторов);

Q_{n1} – количество теплоты, передаваемой от панели в салон;

$Q_{\text{пт}}$ – количество теплоты, отдаваемого через потолок и боковые стены кабины;

$Q_{\text{пл}}$ – количество теплоты, отдаваемого через пол кабины.

Поскольку в рассматриваемом виде транспорта практически отсутствует конвективный теплообмен, передача тепловой энергии от СЖОиГС во внешнюю среду невозможна. В связи с этим в качестве среды для утилизации избытков тепловой энергии целесообразно рассматривать тепловые аккумуляторы, установленные внутри капсулы.

Общая классификация тепловых аккумуляторов [10] показана на рис. 2.



Рис. 2. Классификация аккумуляторов теплоты

Для упрощения конструкции в рассматриваемом виде транспорта подходят твердотельные тепловые аккумуляторы (ТА) или аккумулирование тепловой энергии посредством использования теплоты фазового перехода [11]. Применение жидкостных аккумуляторов тепловой энергии требует дополнительного оборудования, обеспечивающего циркуляцию теплоносителя.

При аккумулировании тепла твердыми телами путем увеличения их внутренней энергии аккумулирующей средой служит твердое тело, которое нагревается и охлаждается без фазовых превращений. Тепловая

емкость аккумуляирования при этом определяется внутренней энергией как составляющей энтальпии (теплосодержания).

Под аккумуляированием на основе теплоты фазового перехода понимается аккумуляирование теплоты плавления, происходящего обычно с небольшими изменениями объема. Иногда фазовый переход «твердое тело – жидкость» совмещается с фазовым переходом «твердое тело – твердое тело» при температуре несколько ниже точки плавления. Часто в дополнение к теплоте фазового перехода предлагается использовать теплоту нагрева (внутреннюю энергию) жидкости и/или твердой фазы.

Применительно к вакуумному магнитолевитационному транспорту целесообразно рассматривать ТА с твердым теплоаккумулирующим материалом (ТАМ) [12], что упростит конструкцию и облегчит эксплуатацию СЖОиГС транспортной единицы.

Материалы и методы исследования

В данной статье применена методика теплотехнического расчета ТА с твердым ТАМ [13, 14].

При расчете теплового баланса необходимо знать удельную величину теплоемкости, энтальпии, теплоты фазовых или химических превращений [15].

Передача тепла теплопроводностью описывается законом Фурье, согласно которому количество теплоты dQ_τ , проходящее за время $d\tau$ через поверхность dF , нормальную к направлению теплоперевода, равно

$$dQ_\tau = -\lambda \frac{dt}{dl} dF d\tau,$$

где λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С);

$\frac{dt}{dl}$ – градиент температуры, т. е. изменение температуры на единицу длины в направлении теплопередачи.

При передаче теплоты теплопроводностью через стенку количество передаваемого тепла за 1 час можно подсчитать по уравнению Фурье как количество тепла, проходящего через плоскость бесконечно малой толщины dx внутри стенки:

$$\frac{dQ_\tau}{d\tau} = Q = -\lambda \frac{dt}{dx} F.$$

Проинтегрировав изменение температуры по всей толщине стенки, получим

$$Q = \frac{\lambda}{\delta} F (t_{\text{ст}1} - t_{\text{ст}2}).$$

Конвекционная теплопередача – это перенос тепла объемами среды путем их взаимного перемещения в направлении теплопередачи. Переход тепла от среды к стенке или от стенки к среде называется теплоотдачей. Количество передаваемого тепла определяется законом Ньютона:

$$Q = \alpha F (t_1 - t_{\text{ст}}),$$

где α – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·°C).

В подавляющем большинстве случаев температуры сред в процессе теплопередачи будут изменяться в результате происходящего теплообмена, а следовательно, будет изменяться и разность температур ($t_1 - t_2$) вдоль поверхности теплообмена. Поэтому рассчитывают среднюю разность температур по длине аппарата $\Delta t_{\text{ср}}$, но так как это изменение нелинейно, рассчитывается логарифмическая разность температур:

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{(t_{1\text{н}} - t_{2\text{н}}) - (t_{1\text{к}} - t_{2\text{к}})}{\ln \frac{t_{1\text{н}} - t_{2\text{н}}}{t_{1\text{к}} - t_{2\text{к}}}} = \frac{\Delta t_{\text{н}} - \Delta t_{\text{к}}}{\ln \frac{\Delta t_{\text{н}}}{\Delta t_{\text{к}}}}.$$

Для определения того количества теплоты, которое было передано теплоаккумулирующему материалу воздухом СЖОиГС, необходимо вначале определить массу ТАМ:

$$V_{\text{там}} = V_{\text{там полн}} - V_{\text{труб}}, \text{ м}^3,$$

где $V_{\text{там полн}}$ – полный объем теплового аккумулятора, м³;
 $V_{\text{труб}}$ – объем труб теплоносителя и теплоприемника, м³.
 Масса ТАМ:

$$m = \rho_{\text{там}} \cdot V_{\text{там}}, \text{ кг},$$

где $\rho_{\text{там}}$ – плотность ТАМ.
 Количество теплоты, переданное ТАМ,

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta t, \text{ Дж}.$$

Для упрощения расчета ТА условно разделим расчет на две части: заряд ТА и разряд ТА.

Определим массовый секундный расход теплоносителя при работе теплового аккумулятора на заряд на основе уравнения теплового баланса:

$$Q = G_B \cdot \Delta i_B,$$

где Δi_B – изменение энтальпии теплоносителя (воздуха), Дж/кг;
 G_B – массовый расход теплоносителя (воздуха), кг/с;
 Q – количество теплоты, переданное ТАМ, Дж;

$$\Delta i_B = C_B (t''_B - t'_B); \quad G_B = \frac{Q}{\Delta i_B}.$$

Определим температурные условия работы теплового аккумулятора:

$$t_{\text{ср.там}} = \frac{(t''_{\text{там}} - t'_{\text{там}})}{2}; \quad t_{\text{ср.в}} = (t_{\text{ср.там}} - \Delta t_{\text{ср}});$$

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{(t'_B - t''_{\text{там}}) - (t''_B - t'_{\text{там}})}{\ln \frac{t'_B - t''_{\text{там}}}{t''_B - t'_{\text{там}}}}.$$

По полученным значениям $t_{\text{ср.там}}$ и $t_{\text{ср.д}}$ определяются необходимые теплофизические характеристики теплоносителей.

Значение действительной скорости теплоносителя (воздуха)

$$w_\Gamma = G/F \cdot r,$$

где G – объемный расход теплоносителя (воздуха), м³/с;
 F – площадь проходного сечения трубы, м²;
 r – внутренний диаметр трубы, м.
 Критерий Рейнольдса:

$$\text{Re} = w_\Gamma \cdot d \cdot \rho_\Gamma / M_\Gamma,$$

где ρ – плотность теплоносителя (воздуха), кг/м³;
 w_Γ – скорость потока, м/с;
 d – характерная длина элемента потока, м;
 M_Γ – коэффициент вязкости теплоносителя (воздуха), кг/(м·с).
 Значение коэффициента теплоотдачи определяется из уравнения

$$Nu = \alpha \cdot d / \lambda,$$

где α – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·°C),
 d – характерная длина элемента потока, м;
 λ – коэффициент теплопроводности среды, Вт/(м·°C).
 Учитывая также критериальное уравнение (применимое к воздуху и воде)

$$Nu = 0,021 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,43} \cdot \lambda_T,$$

имеем

$$\alpha_T = 0,021 \cdot \lambda_T / d_{вн} \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,43} \cdot \Psi_T,$$

где $\Psi_T = 1,05$ – коэффициент, учитывающий влияние температурного фактора для охлаждаемого воздуха.

Массовый секундный расход теплоносителя при работе ТА на заряд определяется аналогичным образом.

Коэффициент теплопередачи определяется по формуле

$$K = 1 / (d_{ср} \cdot (1/a_T \cdot d_{вн} + 1/2 \cdot \lambda_{ст} \cdot \ln \cdot d_{нар} / d_{вн} + 1 / a_T \cdot d_{нар}) + R_{заг}).$$

При вычислении K необходимо соблюдать следующие правила:

если $\alpha_T > \alpha_{в}$, то $d_{ср} = d_{нар}$;

если $\alpha_T = \alpha_{в}$, то $d_{ср} = (d_{вн} + d_{нар}) / 2$;

если $\alpha_T < \alpha_{в}$, то $d_{ср} = d_{вн}$.

При малой относительной толщине стенки трубки $d_{нар} / d_{вн} < 1,5$ можно воспользоваться соотношением

$$K = 1 / (1/a_T + \delta_{ст}/\lambda_{ст} + 1/a_{в} + R_{заг}).$$

Определим длительность полной зарядки:

$$d = E_{ак} / N_{раз},$$

где $E_{ак}$ – емкость аккумулятора, кВт·ч;

$N_{раз}$ – мощность разрядки, кВт.

Результаты

Применительно к вакуумному магнитолевитационному транспорту целесообразно рассматривать ТА с твердым ТАМ, что упростит конструкцию и облегчит эксплуатацию СЖОиГС транспортной единицы.

На рис. 3 приведена укрупненная схема процесса эксплуатации аккумулятора тепловой энергии, позволяющая обеспечить не только утилизацию тепловыделений внутри транспортной единицы, но и использование этой тепловой энергии.



Рис. 3. Укрупненная схема процесса эксплуатации аккумулятора тепловой энергии

На рис. 4 приведена принципиальная схемы варианта № 2 полезного использования тепловой энергии, высвобожденной в процессе разрядки ТА. Вариант утилизации тепловой энергии (вариант № 1) отличается от предложенного включением в контур «холодной воды» бака охладителя.

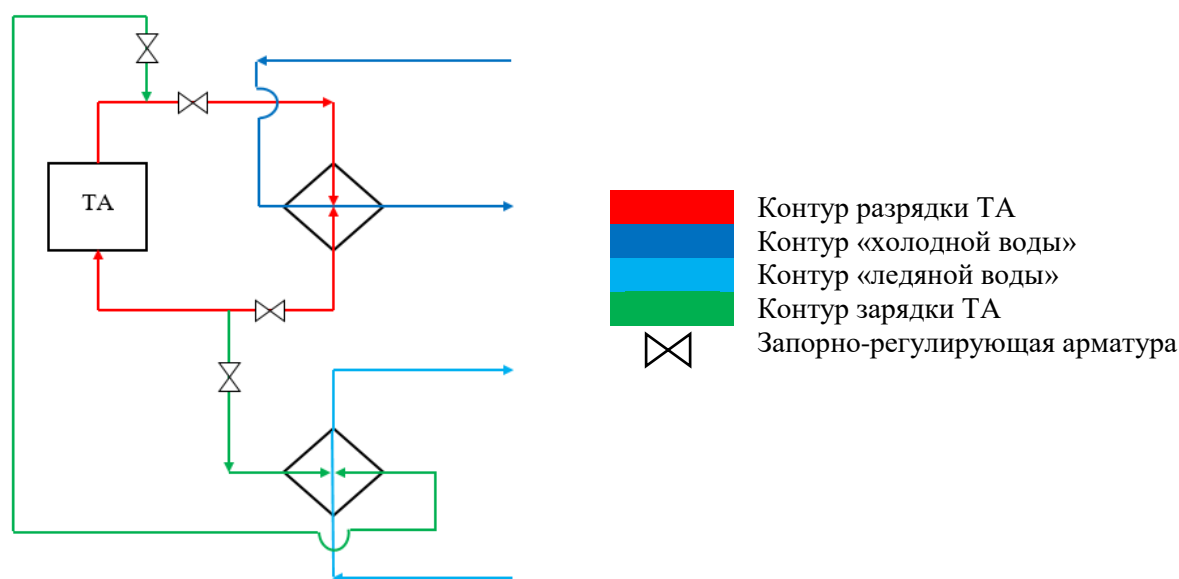


Рис. 4. Принципиальная схема полезного использования тепловой энергии, высвобождаемой в процессе разрядки ТА

Одним из способов решения задачи теплоотвода непосредственно вакуумного трубопровода и предотвращения тепловых деформаций его конструкций может служить использование плавящихся теплоаккумулирующих материалов, помещенных в оболочку вакуумного трубопровода. Данный способ может быть использован как альтернатива теплоизолирующим материалам.

Обсуждение результатов

Рассмотренные в статье вопросы, а также приведенные методики позволяют полностью решить поставленные задачи. Применение тепловых аккумуляторов в качестве узлов автономных систем вентиляции и кондиционирования воздуха не только повышает уровень комфорта пассажиров, но и существенно снижает потребление энергии данными системами. Кроме того, решается вопрос обеспечения экологической безопасности данного вида устройств, так как эти системы не требуют применения фреонов, необходимых в классических системах кондиционирования воздуха.

Заключение

Предлагаемая система позволяет в должной мере обеспечить требуемые параметры микроклимата в объеме пассажирской или грузовой транспортной единицы. В статье приведена методика, позволяющая с высокой степенью точности выбрать как материал теплового

аккумулятора, так и режимы его работы в зависимости от условий эксплуатации транспортных единиц вакуумного магнитолевитационного транспорта.

Предлагаемая система обладает рядом существенных преимуществ:

- не требует дополнительных затрат энергии;
- решается проблема отвода тепловой энергии в среде с разреженным воздухом;
- в совокупности со стационарными системами разрядки тепловых аккумуляторов позволяет увеличить энергетическую эффективность всей транспортной системы в целом.

Библиографический список

1. Воробьев И.А., Кондратенко Р.О., Нестеров С.Б., Белоконев А.Н. О возможностях, специфике, научных задачах по созданию вакуумной среды для транспортных систем // Бюл. Объединенного ученого совета ОАО «РЖД». – 2016. – № 1–2. – С. 28–38.

2. Антонов Ю.Ф., Зайцев А.А. Магнитолевитационная транспортная технология / под ред. А.В. Гапановича. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2014. – 476 с.

3. Козин В.Е. Теплоснабжение. – М.: Высш. шк., 1980. – 408 с.

4. Аэромеханический шум в технике / под ред. Р. Хиклинга. – М.: Мир, 1980. – 336 с.

5. Шум на транспорте / под ред. П.Н. Нельсона. – М.: Транспорт, 1985. – 368 с.

6. Михеев М.А., Михеев И.М. Основы теплопередачи. – М.: Энергия, 1977. – 344 с.

7. Богословский В.Н., Пирумов А.И., Посохин В.Н., Березина Н.И., Двиняников В.В., Егiazаров А.Г., и др. Вентиляция и кондиционирование воздуха. – М.: Стройиздат, 1992. – 735 с.

References

1. Vorob'yov IA, Kondratenko RO, Nesterov SB, Belokonev AN. *Byulleten' Ob"edinennogo uchenogo soveta OAO "RZHD"*. 2016;1-2:28–38. (In Russ.)

2. Antonov YuF, Zajcev AA. *Magnetolevitational Transport Technology*. Moscow: FIZMATLIT; 2014. 476 p. (In Russ.)

3. Kozin VE. *Heat supply*. Moscow: Vysshaya shkola; 1980. 480 p. (In Russ.)

4. Khikling R. ed. *Aeromechanical Noise in Engineering*. Moscow: Mir; 1980. 336 p. (In Russ.)

5. Nelson PN. ed. *Noise on transport*. Moscow: Transport; 1985. 368 p. (In Russ.)

6. Miheev MA, Miheev IM. *Fundamentals of Heat Transfer*. Moscow: Energiya; 1977. 344 p. (In Russ.)

7. Bogoslovskij VN, Perumov AI, Posohin VN, Berezina NI, Dvinyanikov VV, Egiazarov AG, Krupnov BA, Leskov EA, Fialkovskaya TA, Shapritsky VN, Shilkrot EO, Aleksandrov AI, Kushelman GS, Moore LF, Moshkin VI, Nevsky VV, Orlov VA, Petrov BS, Pylaev EN. *Ventilation and*

- Air Conditioning. Moscow: Sroyizdat; 1992. 735 p. (In Russ.)
8. Миханько М.Г., Сидоров Ю.П., Хенач А.Х., Шмидт М. Кондиционирование воздуха в пассажирских вагонах и локомотивах. – М.: Транспорт, 1981. – 254 с.
8. Mihan'ko MG, Sidorov YuP, Henache AKh, Schmidt M. Air conditioning in passenger cars and locomotives. Moscow: Transport; 1981. 254 p. (In Russ.)
9. Зуев К.И. Основы теории подобия: конспект лекций. – Владимир: Изд-во Владимир. гос. ун-та, 2011. – 51 с.
9. Zuev KI. Fundamentals of the theory of similarity: a summary of lectures. Vladimir; 2011. 51 p. (In Russ.)
10. Киселев И.Г., Кудрин М.Ю. Тепловые аккумуляторы: метод. указания. – СПб.: Изд-во ПГУПС, 2015. – 15 с.
10. Kiselev IG, Kudrin MYu. Thermal accumulators: methodical instructions. St. Petersburg; 2015. 15 p. (In Russ.)
11. Бекман Г., Гилли П. Тепловое аккумулирование энергии / под ред. В.И. Бродянского. – М.: Мир, 1987. – 272 с.
11. Bekman G, Gilli P. Thermal Energy Storage; Brodyznskiy VI ed. Moscow: Mir; 1987. 272 p. (In Russ.)
12. Лукьянов А.В., Остапенко В.В., Александров В.Д. Аккумуляторы тепловой энергии на основе фазового перехода // Вестн. – 2010. – № 6 (86). – С. 64–68.
12. Luk'yanov AV, Ostapenko VV, Aleksandrov VD *Vestnik*. 2010;6(86):64–68. (In Russ.)
13. Лусия М. де, Бежан А. Термодинамика процесса аккумулирования энергии при плавлении в режиме теплопроводности или естественной конвекции // Соврем. машиностроение. Сер. А. – 1990. – № 11. – С. 111–117.
13. Lusiya M de, Bezhan A. *Sovremennoe mashinostroenie. Seriya A*. 1990;11:111–117. (In Russ.)
14. Куколев М.И. Основы проектирования тепловых накопителей энергии. – Петрозаводск: Изд-во Петрозавод. гос. ун-та, 2001. – 220 с.
14. Kukolev MI. Basics of designing thermal energy storage devices. Petrozavodsk; 2001. 220 p. (In Russ.)
15. Алексеев Г.Н. Общая теплотехника: учеб. пособие. – М.: Высш. шк., 1980. – 552 с.
15. Alekseev GN. General Heat Engineering. Moscow: Vysshaya shkola; 1980. 552 p. (In Russ.)

Сведения об авторах:

Краснов Антон Сергеевич, старший преподаватель,
ORCID 0000-0001-8896-5509;
E-mail: anton.s.krasnov@gmail.com;

Зименкова Татьяна Сергеевна, аспирант,
ORCID 0000-0001-7323-4535;
E-mail: tatyana.zimenkova@gmail.com;

Казначеев Сергей Александрович, инженер,
ORCID 0000-0002-8361-546X;
E-mail: kaznacheeff.serezha@yandex.ru

Аксенов Никита Андреевич, инженер
ORCID 0000-0002-4599-4753;
E-mail: aksenov1993@mail.ru

Information about authors:

Anton S. Krasnov, Senior Lecturer,
ORCID 0000-0001-8896-5509;
E-mail: anton.s.krasnov@gmail.com;

Tatiana S. Zimenkova, Postgraduate Student,
ORCID 0000-0001-7323-4535;
E-mail: tatyana.zimenkova@gmail.com;

Sergey A. Kaznacheev, Engineer,
ORCID 0000-0002-8361-546X;
E-mail: kaznacheeff.serezha@yandex.ru;

Nikita A. Aksenov, Engineer,
ORCID 0000-0002-4599-4753;
E-mail: aksenov1993@mail.ru

Цитировать:

Краснов А.С., Зименкова Т.С., Казначеев С.А., Аксенов Н.А. Применение теплового аккумулятора с твердым теплоаккумулирующим материалом как способ охлаждения части системы жизнеобеспечения и грузосохранения вакуумного магнитолевитационного транспорта // Транспортные системы и технологии. – 2018. – Т. 4, № 1. – С. 43-57. DOI: 10.17816/transsyst2018041043-057.

To cite this article:

Krasnov AS, Zimenkova TS, Kaznacheev SA, Aksenov NA. Application of Thermal Accumulator with Solid Heat Accumulating Material as a Method of Cooling of Life Support and Freight Protection Systems for Vacuum Magnetic Levitation Transport. *Transportation Systems and Technology*. 2018;4(1):43-57. DOI: 10.17816/transsyst2018041043-057.